ChinaXiv合作期刊

干旱区研究
ARID ZONE RESEARCH

doi:10.13866/j.azr.2018.06.11

中国北方一次强沙尘暴天气过程的大气污染效应①

蒋雨荷[1]， 王式功[1]， 靳双龙[2]， 樊 晋[1]

（1. 成都信息工程大学大气科学学院，四川 成都 610225；
2. 中国电力科学研究院新能源与储能运行控制国家重点实验室，北京 100192）

摘 要： 利用常规环境监测的污染物浓度数据、NCEP/NCAR 0.5°×0.5°再分析资料以及常规气象观测资料，对2017年5月3—6日先后影响了我国13个省（自治区、直辖市）的强沙尘暴大气污染过程进行了研究。结果表明：主要受影响城市的 PM_{10} 日平均浓度相对月平均浓度增长了2～10倍，$PM_{2.5}$ 日平均浓度相对月平均浓度增长了5～8倍。强沙尘暴爆发期间颗粒物浓度呈明显的上升趋势，且 PM_{10} 浓度值较 $PM_{2.5}$ 浓度值增幅更加明显，表明沙尘暴裹挟了大量的粗颗粒污染物；相反，沙尘暴发生期间，SO_2、CO 和 NO_2 三种气态污染物的日平均浓度均呈下降趋势，表明沙尘暴对气态污染物有一定的扩散效应，而对 O_3 浓度变化无显著影响。此外，沙尘暴爆发期间能见度低值区、PM_{10} 浓度高值区以及3 h正变压区的位置基本一致，都位于地面冷锋的后部地区，这为沙尘暴及其污染预报和预防提供了天气学依据。

关键词： 沙尘暴；可吸入颗粒物（PM_{10}，$PM_{2.5}$）；环流形势；气态污染物（SO_2，CO，NO_2）

我国大范围的沙尘天气，特别是沙尘暴天气主要发生在我国北方干旱、半干旱区的春季[1-2]，由于其挟裹高浓度的沙尘，不仅对大气能见度、大气光学特性、地气辐射平衡等大气环境带来严重影响，导致自然环境破坏，诱发大气污染事件，使空气质量急剧恶化[3]，而且还为输电线路及其电气设备污闪事故的发生埋下祸根，给工农业生产、交通运输、居民生活和空气质量带来不利影响[4]，因此受到社会各界的广泛关注。近年来，我国的科学工作者对沙尘暴进行了较为详细的研究。牛生杰等[5-6]对贺兰山地区沙尘气溶胶浓度以及粒子谱分布进行了观测分析。刘景涛等[7]通过统计1957—1996年和2001—2002年共计33次的特强沙尘暴过程，对其天气系统进行了分析，重点归纳了形成每次沙尘暴过程的天气系统的热力和动力结构、活动特征及高低层系统的相互配置。刘庆阳等[8]通过分析2012年春季一次沙尘暴天气过程中，京津冀地区大气可吸入颗粒物（PM_{10}）的污染特征，借助 PM_{10} 的水溶性元素、有机碳和元素碳的浓度，分析推断沙尘暴天气过程中矿物气溶胶对城市气溶胶污染的交汇叠加作用。宁海文等[9]利用1971—2003年西安市常规气象观测资料、2001—2003年西安市区主要污染物日均浓度资料和2002年3月一次重度污染事件逐时的 PM_{10} 浓度资料，分析了西安市沙尘天气的时间分布特征及其对主要空气污染物浓度的影响。然而，目前关于沙尘暴对空气质量的研究多集中于对 PM_{10} 的变化情况，对 $PM_{2.5}$、二者比值变化的研究相对较少，对气态污染物 O_3 以及CO浓度变化的研究相对较少。为此，本文采用全国370个城市逐小时污染数据和气象数据，对2017年5月3—6日影响我国13个省（自治区、直辖市）的强沙尘暴过程的污染效应及其原因进行分析。期望对沙尘暴及其污染预报和预防提供天气学依据。

1 资料来源

本文利用国家空气质量监测站提供的全国370个城市逐小时污染数据进行颗粒物与气态污染物的浓度变化分析。NCEP/NCAR 0.5°×0.5°全球再分析格点资料（4次·d^{-1}）主要包括：温度、相对湿度、位势高度、UV风速、垂直速度等常规气象观测资料，对其进行沙尘天气过程的气象成因分析。采用美国国家海洋和大气管理局（NOAA）在线提供的

① **收稿日期：** 2018－01－31； **修订日期：** 2018－06－20
基金项目： 国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目（91644226）；国家电网公司科技项目资助（1704－00206）和国家基础科技条件平台建设项目（NCMI－SBS17－201707，NCMI－SJS15－201707）共同资助
作者简介： 蒋雨荷（1994－），女，硕士研究生，主要从事气象环境与健康研究. E-mail：1404492639@qq.com
通讯作者： 王式功. E-mail：wangsg@cuit.edu.cn

chinaXiv:201811.00031v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201811.00031v1

HYSPLIT 后向轨迹模型研究此次主要受影响城市的污染物来源及其输送路径。

2 沙尘污染实况分析

2.1 受沙尘暴影响的主要城市的颗粒物浓度变化

通过分析受沙尘影响比较严重的 19 个城市的 PM_{10} 日平均浓度(表 1)可知:本次过程的最强时间发生在 5 月 4 日,其中呼和浩特地区的 PM_{10} 日平均浓度达 1 763 $\mu g \cdot m^{-3}$,超二级标准(150 $\mu g \cdot m^{-3}$)12 倍;巴彦淖尔地区达 1 533 $\mu g \cdot m^{-3}$,超二级标准 10 倍,张家口地区达 1 038 $\mu g \cdot m^{-3}$,超二级标准 7 倍。PM_{10} 日平均浓度相对月平均浓度增加了 2 ~ 10 倍。

表 1 全国 19 个城市 5 月 3—6 日 PM_{10} 日平均浓度与月平均浓度

Tab. 1 The daily and monthly average concentrations of PM_{10} in 19 cities in China from May 3 to 6 /($\mu g \cdot m^{-3}$)

城市	05 - 03	05 - 04	05 - 05	05 - 06	月平均浓度
巴彦淖尔	499	1 533	430	100	190
乌海	646	1 006	533	191	205
包头	401	1 206	650	157	156
锡林郭勒盟	268	897	359	44	128
鄂尔多斯	318	1 249	342	95	132
呼和浩特	298	1 763	596	125	179
呼伦贝尔	192	615	24	143	76
兴安盟	183	910	131	77	106
金昌	659	1 040	440	166	154
石嘴山	236	939	518	154	151
银川	221	696	457	100	127
吴忠	515	1 015	598	235	199
定西	291	587	501	231	141
榆林	197	822	802	115	140
大同	84	1 250	461	98	142
张家口	103	1 038	386	81	111
北京	32	417	266	58	69
保定	90	894	537	127	156
潍坊	80	61	325	245	133

由于本次沙尘过程经过贺兰山地区的毛乌素沙漠、腾格里沙漠以及巴丹吉林沙漠等沙源地,再配合中高纬度地区的降温大风天气,可将沙尘不断向下游地区输送,造成一定程度的污染。且与沙尘暴爆发呈显著负相关的降水量在东西部地区存在显著的差异,据统计 1960—2014 年,新疆大部分地区的年平均降水量达 107.9 mm,河西走廊地区的年均降水量达 180.2 mm,内蒙古中部、宁夏、山西、陕西、京津冀、山东北部等地的年平均降水量达 450 mm[10],降水使 PM_{10} 发生沉降浓度降低。所以,本次过程的强度变化表现为明显的由北向南、由西向东逐渐递减。

分析图 1a 和图 1b 发现,PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 日平均浓度变化趋势基本一致,都于 5 月 4 日出现突增;由 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的浓度比可知(图 1c),5 月 4—5 日浓度比呈连续下降趋势。以大同市为例,沙尘暴爆发前夕,浓度比为 50%,沙尘暴爆发期间,5 月 4 日浓度比下降到 23.76%,5 日浓度比继续下降到 20.60%,其后慢慢恢复到沙尘暴爆发前期的水平,$PM_{2.5}/PM_{10}$ 的比值随沙尘暴的发展发生变化,说明在沙尘暴爆发初期以粗颗粒物为主,随着沙尘暴持续,$PM_{2.5}/PM_{10}$ 逐渐增大,尤其在沙尘暴爆发后期,粗颗粒逐渐沉降之后,细颗粒占比升高[11-13]。表明沙尘暴裹挟了大量的粗颗粒污染物,既恶化环境空气质量,又加剧了露天电气设备发生污闪事故的风险。牛生杰等[6]通过对贺兰山地区春季沙尘气溶胶质量浓度的观测分析得出:在沙尘天气状况下,沙尘粒子质量浓度越大,大于 9 μm 的沙尘粒子越多,同时 1.1 ~ 2.1 μm 的沙尘粒子质量浓度增加也很明显,这与本次研究结果相吻合。

2.2 污染物浓度变化

选取了受沙尘暴影响严重的 5 个城市:包头、呼和浩特、巴彦淖尔、张家口和北京。从图 2 可知,沙尘暴对微量成分的浓度有一定影响。5 个城市的 SO_2、CO 和 NO_2 日平均浓度在沙尘暴爆发前均有不同程度的增加,沙尘暴爆发期间有明显的减小,且基本达到一个月以来的最低值。其中 5 月 4 日包头、呼和浩特、巴彦淖尔、张家口和北京的 SO_2 日平均浓度相较于月平均浓度下降了 13.04%、29.41%、23.08%、62.5% 和 11.68%;CO 的日平均浓度相较于月平均浓度下降了 40.91%、7.14%、17.14%、16.67% 和 50%;NO_2 的日平均浓度相较于月平均浓度下降了 88%、40%、33.33%、21.43% 和 0.21%。而对 O_3 质量浓度影响不大。

造成气态污染物浓度下降的主要原因为:SO_2、CO 和 NO_2 是人为污染物,主要来自于燃煤、燃料的不完全燃烧、机动车尾气排放。沙尘暴起源于荒漠地区,人类活动较少,SO_2、CO、NO_2 的人为排放量少。沙尘暴爆发期间输送至包头、呼和浩特、巴彦淖尔以及张家口地区的沙尘没有经过主要的 SO_2、CO 和 NO_2 排放源,因此抵达到这些城市的沙尘没有挟裹大量的 SO_2、CO 和 NO_2,监测到的 SO_2、CO 和 NO_2 浓度主要以当地污染源的排放为主。通过后向轨迹分析可知,北京地区 4 日的气流轨迹主要经过山西

ChinaXiv合作期刊

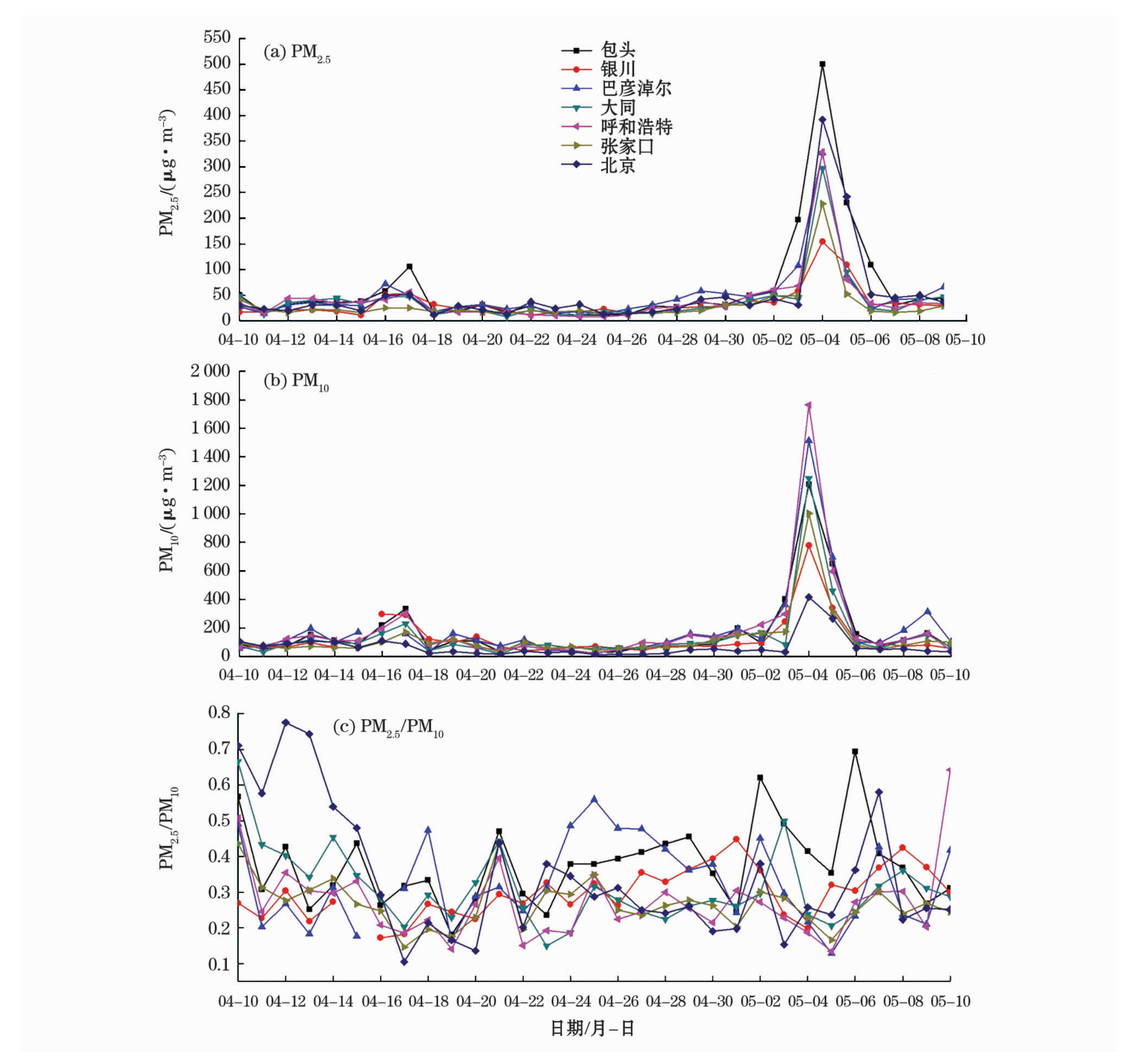


图 1 7 个城市 4 月 10 日至 5 月 10 日日平均颗粒物浓度变化

Fig. 1 The proportion of the average particulate concentration in 7 cities from April 10 to May 10

chinaXiv:201811.00031v1

北部、河北西北部等 SO_2、CO、NO_2 排放源大值区，所以监测到北京地区的 SO_2、CO 和 NO_2 主要来自于本地污染源的排放和沙尘的输送。其次，大气中气态污染物质量浓度的高低与局地风速的大小密切相关，风速越大越有利于气态污染物的稀释扩散，反之会造成污染物浓度的积聚[14]。4 日沙尘暴爆发期间，5 个站点的平均风速基本都超过 4 m·s^{-1}，极大瞬时风速分别为：10 m·s^{-1}，8 m·s^{-1}，12 m·s^{-1}，6 m·s^{-1}和 4 m·s^{-1}，使得 5 个城市的 SO_2、CO 和 NO_2 浓度因为大风稀释而呈明显的下降趋势，其中北京地区由于本地排放的 SO_2、CO 和 NO_2 的浓度较大，所以扩散效果不如其他 4 个城市显著。

3 与此次沙尘暴相伴随的冷空气活动

3.1 冷锋移动路径、PM_{10}逐小时浓度与 3 h 变压的空间分布

通过分析本次过程的冷锋移动路径、PM_{10}逐小时浓度与 3 h 变压分布图(图 3)可知：

3 日 14 时，地面冷锋主要位于蒙古国中部、内蒙古西部，无明显的变压活动，全国空气质量良好。3 日 17 时，冷锋快速移至内蒙古中部、山西中部，锋后的内蒙中部、陕西、山西、宁夏东部、甘肃西南部等地处于弱的正变压区域。

4 日 08 时，地面锋线移至内蒙古东部以及京津

ChinaXiv合作期刊

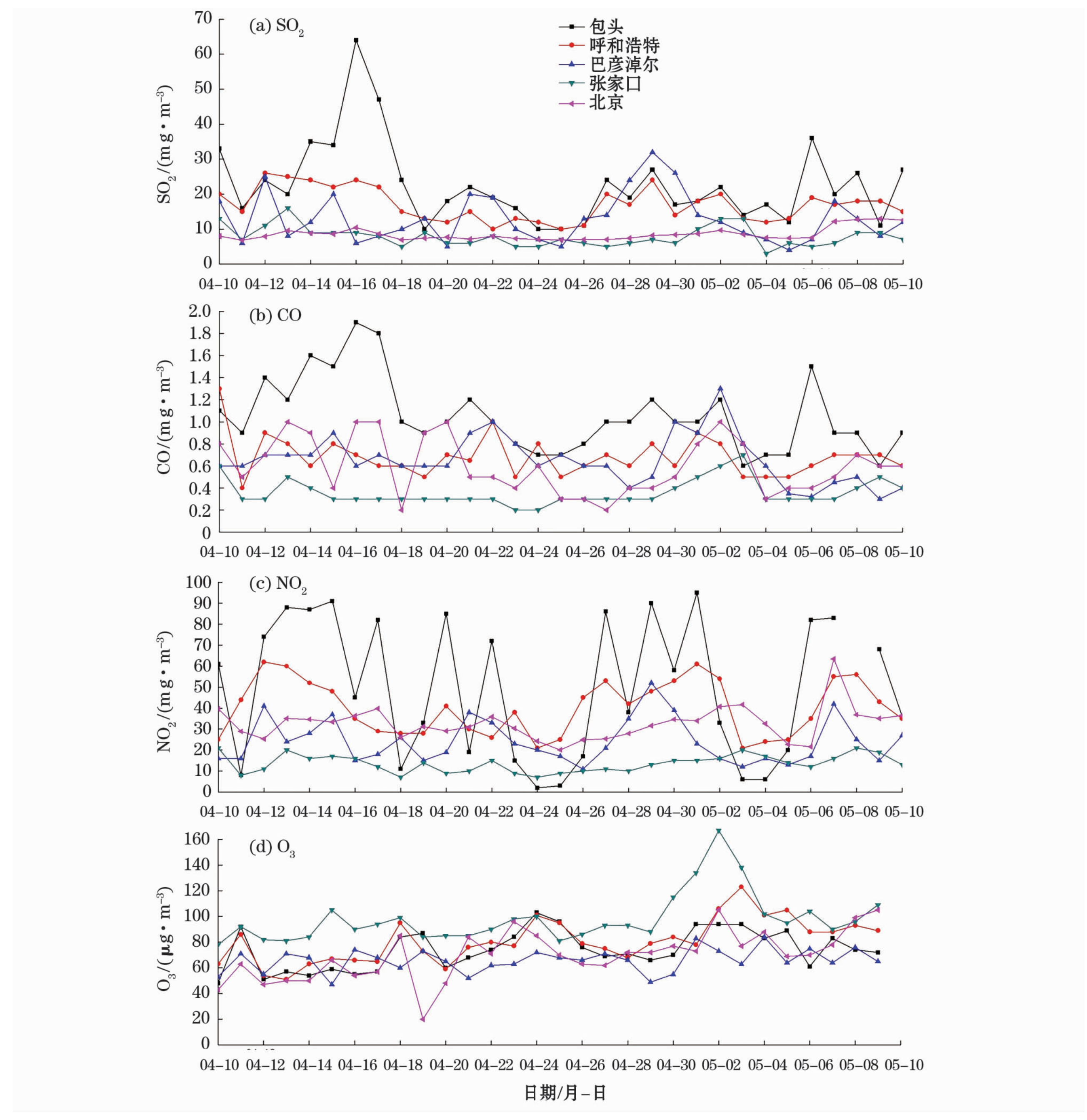


图2 5个城市4月10日至5月10日气态污染物日平均浓度变化

Fig. 2 Change of daily average concentration of gaseous pollutants in 5 cities from April 10 to May 10

冀地区,冷锋附近出现大风和降温天气,锋后气压明显升高,正变压区域随之加强东移,PM_{10}大值区主要位于冷锋后部的正变压区域。

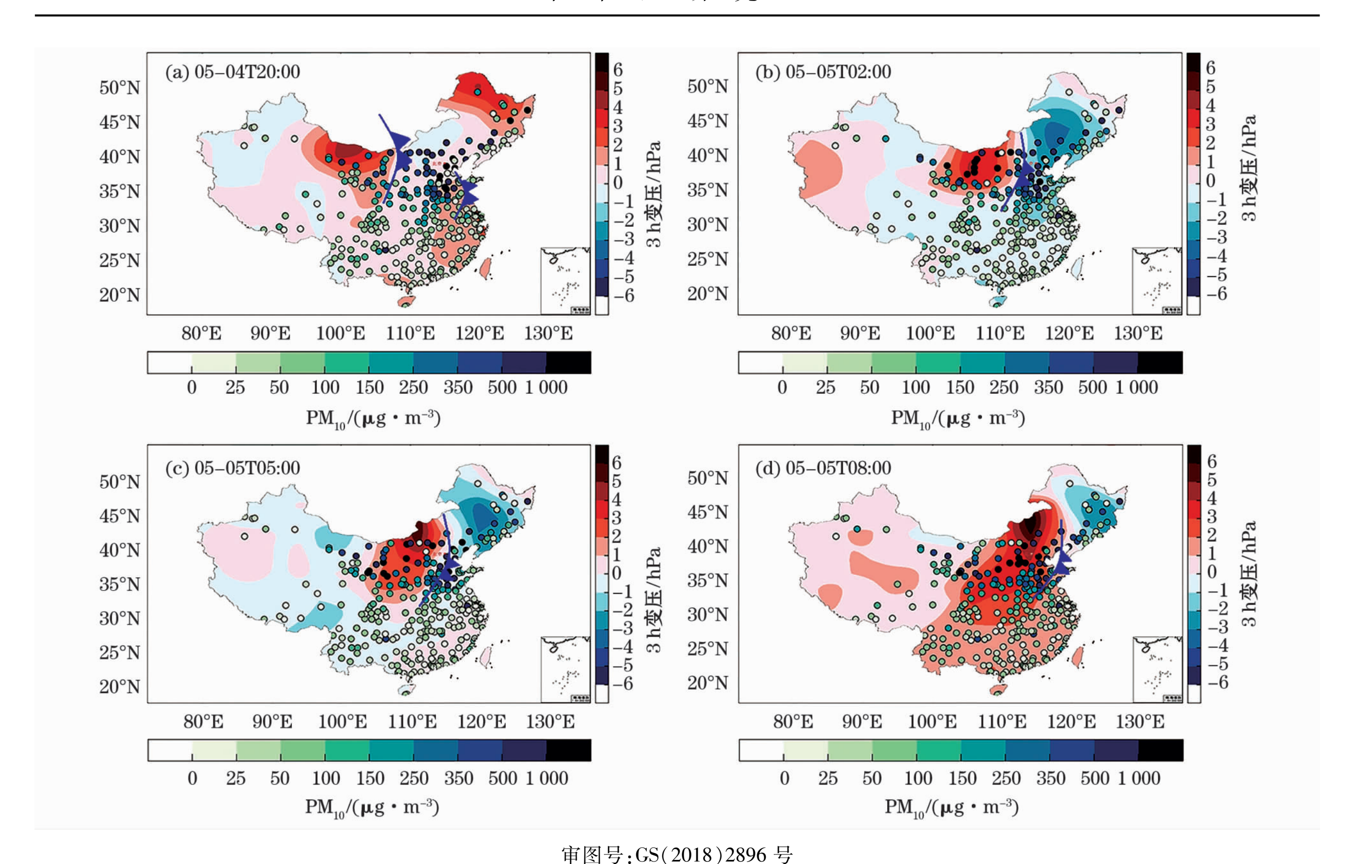
4日20时(图3a),影响京津冀地区的冷锋减弱东移南下至山东东部、江苏北部地区,其后部对应着弱的正变压区、PM_{10}大值区主要位于冷锋后部的山西、京津冀、河南中部、山东西部等正变压区域。在此冷锋的后部于内蒙古中部地区又发展出一支副冷锋,内蒙古西部、甘肃、宁夏等地的3 h变压发生明显变化,最大3 h变压达到4 hPa·h^{-1},与冷空气的移动路径相匹配且位于副冷锋后部,与PM_{10}的逐小时浓度大值区呈较好的对应关系。

5日02时(图3b),冷锋继续加强东移至内蒙古中部、山西中部等地。冷锋前后的正负变压中心强度持续加强,变压梯度加大,大风沙尘主要发生在变压梯度大,即变压风大的区域内,表现为PM_{10}逐小时浓度大值区基本位于正负变压交界的区域以及正变压区。

5日05时(图3c),冷锋移至内蒙古中东部,正变压中心东移南压强度加强,在正变压中心的东部

chinaXiv:201811.00031v1

ChinaXiv合作期刊



审图号:GS(2018)2896 号

图 3 冷锋移动路径、PM_{10}逐小时浓度与 3 h 变压

Fig. 3 The cold front moving path, hourly concentration of PM_{10} and 3-hour pressure chart

为较强的负变压区,PM_{10}逐小时浓度大值区再次影响正负变压交界的京津冀地区以及锋后的内蒙古中部、陕西、山西等地。

5 日 08 时(图 3d),冷锋继续东移至内蒙古东部地区。3 h 变压大值区继续加强东移南压,其中内蒙古锡林郭勒盟地区的 3 h 正变压强度达到 6 hPa · h^{-1},负变压区强度明显减小,变压梯度减小,沙尘暴强度有所减弱,污染高浓度区域主要出现在 3 h 正变压大值区域。

5 日 20 时,冷锋东移入海,我国北方地区基本受正变压区域控制,变压梯度减小,PM_{10}浓度减弱,此次过程趋于结束。本次过程的 3 h 正变压区基本位于地面冷锋的后部,有明显的锋生活动,由于锋生活动使锋面两侧的变压梯度加大,变压风加大,从而使锋面处大风加强,PM_{10}的逐小时浓度加大。

3.2 后向轨迹分析

本文采用 Web 版的 HYSPLIT 进行气流后向轨迹分析。选取了受沙尘影响比较严重的 3 个城市:呼和浩特(41. 087° N、111. 467° E);张家口(40.826°N、114.889°E);北京(39.930°N、116.396°E)作为参考点来分析沙尘暴爆发期间气团在 24 h 后向轨迹移动路径,考虑到边界层的扩散和混合,气团后向轨迹的起始点分别选在海拔 500 m 和 1 500 m,对应于当地大气的低层与中—高层。

图 4 是 2017 年 5 月 4—6 日 3 个采样点发生高浓度可吸入颗粒物污染期间,在海拔 500 m 和 1 500 m 低、中高层条件下的 24 h 后向轨迹图。4 日 3 个站点 500 m 和 1 500 m 的 24 h 后向轨迹主要来自于俄罗斯的西南部、中蒙边界的西南部,经过内蒙古中部地区影响至呼和浩特、张家口与北京。5 日呼和浩特与张家口的 500 m 和 1 500 m 的后向轨迹主要来自于蒙古国中东部、内蒙古中部的戈壁荒漠区。北京 1 500 m 的 24 h 后向轨迹主要来自俄罗斯南部、蒙古国中西部、内蒙古西部、陕西北部、山西北部、河北西北部、北京。由于气团的移动路径经过了主要的沙源区,使得 4 日的 PM_{10}日平均浓度较 3 日有明显的增加。其中呼和浩特地区 PM_{10}日平均浓度较 3 日增加了 1 465 μg · m^{-3}张家口增加了 935 μg · m^{-3},北京增加了 382 μg · m^{-3}。6 日呼和浩特的 1 500 m 和北京、张家口的 1 500 m 和 500 m 后向轨迹主要来自于蒙古国中部与内蒙古中部地区,其中 1 500 m 气团轨迹较 500 m 更偏西南。呼和浩特 500 m 后向轨迹主要来自于内蒙古的中部地区,强度较 5 日有明显的减弱。

chinaXiv:201811.00031v1

ChinaXiv合作期刊

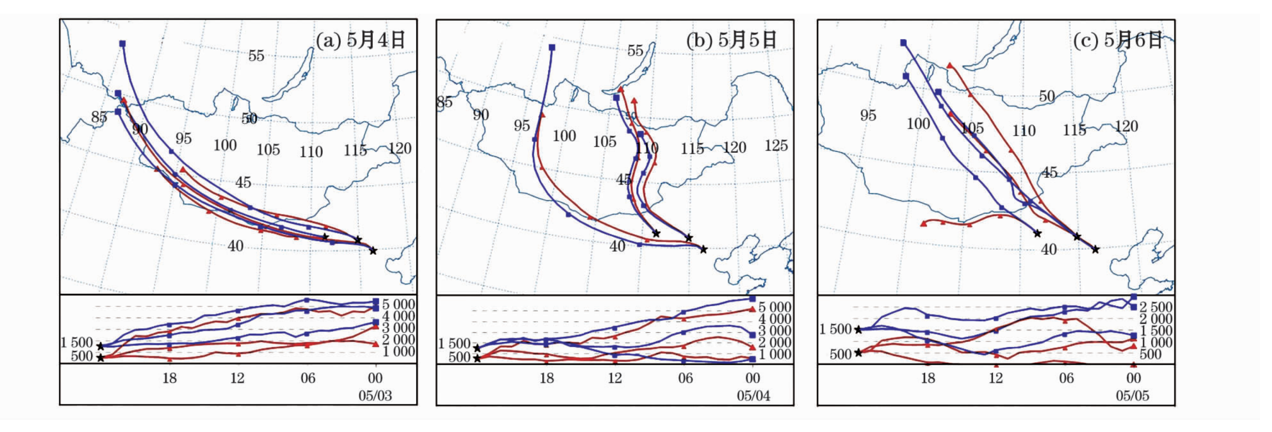


图 4 呼和浩特、张家口、北京 1 500 m 和 500 m 的 24 h 后向轨迹图

Fig. 4 The 24 hour backward trajectories of 1 500 m and 500 m over Hohhot, Zhangjiakou and Beijing

4 环流形势及天气系统分析

4.1 高空形势分析

500 hPa,5 月 3 日 08 时欧亚大陆中高纬地区为两槽一脊的环流形式。两槽分别位于乌拉尔山以西地区以及贝加尔湖西部地区,脊位于乌拉尔山以东地区。位于贝加尔湖西部的西北气流影响至新疆北部以及蒙古地区。3 日 20 时,两槽移动缓慢,贝加尔湖北部又发展出一支横槽,贝加尔湖西部的低槽加强发展为一个小低涡,西北气流影响至内蒙古中西部。4 日 08 时(图 5a)槽继续东移,槽后西北气流影响至京津冀地区。4 日 20 时(图 5b)影响京津冀地区的槽已经东移出我国,之前位于贝加尔湖北部的横槽逐渐转竖,再次影响内蒙古西部地区,5 日 08 时(图 5c)槽东移发展影响至内蒙古东部以及京津冀地区,等值线密集,强度大。5 日 20 时(图 5d)槽继续东移影响至东北地区,槽后西北气流影响至华北等地,6 日 08 时大槽移至日本海地区,本次过程趋于结束。

850 hPa,5 月 3 日 08 时黑海与里海之间有一个高值系统,蒙古东部以及四川盆地分别受两个低值系统的控制,等温线与等高线的交角接近 90°,冷平流明显,新疆、内蒙古地区以西北风为主。4 日 08 时小高压向东发展,从黑海里海之间东移至新疆北部,四川盆地附近的小低压东移至江淮地区,蒙古东部的低值系统继续维持。我国整体受这种西高东低的形势控制,从而加强了新疆—内蒙古一线的西北风,将内蒙古毛乌素沙漠、腾格里沙漠以及巴丹吉林沙漠的沙尘不断向东南部输送。5 日 08 时我国中部地区发展出一个高值系统,高压外围的反气旋式环流以及低压的气旋式环流将蒙古国地区的沙尘不断输送至内蒙古北部地区。5 日 20 时高压减弱,江淮地区的风力明显减弱,6 日此次过程趋于结束。

4.2 高空急流

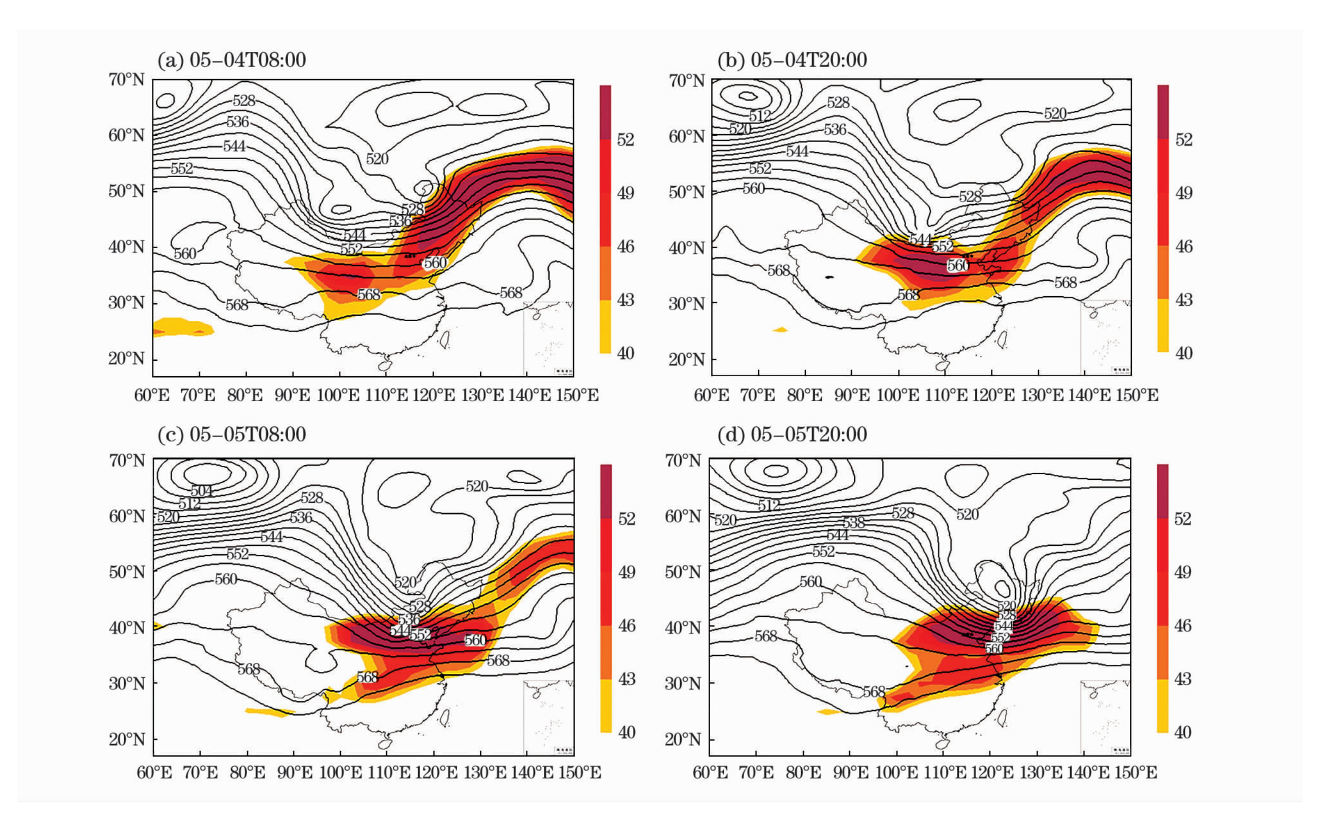
分析 200 hPa 强急流带可知,4 日 08 时(图 5a)我国存在两支高空急流,一支急流位于青海陕西一带,中心位于甘肃南部,中心风速达 52 $m \cdot s^{-1}$,另一支位于华北东北一带,急流中心位于内蒙古东北部,吉林辽宁西部,中心风速达 54 $m \cdot s^{-1}$。由于高空急流中心的左前部存在辐散运动,其下层表现为垂直上升的辐合运动,高空急流中心的左后部存在辐合运动,其下层表现为辐散下沉运动,对于青海陕西一带的急流,其左前部对应地面的内蒙古地区,通过高空急流的垂直运动将内蒙古地区的沙尘带入高空,通过西风带向东输送,与华北东北一带的高空急流左后方的下沉支形成一垂直环流圈,将沙尘输送至山西,京津冀地区,解释了同时次实况观测的 PM_{10}逐小时浓度大值区的所在位置。4 日 20 时(图 5b),青海陕西一带的急流中心前部东移至山西、京津冀地区,急流中心强度加强到 56 $m \cdot s^{-1}$。位于华北东北一带的急流稳定维持,急流中心强度减小到 48 $m \cdot s^{-1}$。5 日 08 时(图 5c),急流继续东移至陕西、山西、河北一线,急流中心加强到 60 $m \cdot s^{-1}$。5 日 20 时(图 5d),急流中心移至日本海地区,本次过程趋于结束。高空急流中心前部左侧有强的辐散,位于其下部的空气则辐合,引起整层不稳定,这种高空辐散低空辐合上升运动引起的抽吸作用能将沙尘输送到中层大气。所以,伴随高空急流中心前部的东移,在其左前部有沙尘天气发生。

5 结 论

(1) 沙尘暴爆发期间,PM_{10}与 $PM_{2.5}$浓度值均出

chinaXiv:201811.00031v1

ChinaXiv合作期刊



注:填色部分为风速≥40 m·s⁻¹的强急流带。

图5 5月4日08时至5日20时500 hPa位势高度与200 hPa高空急流分布

Fig. 5 500 hPa geopotential height and 200 hPa jet distribution from 08:00 on May 4 to 20:00 on May 5

现突增,主要受影响城市的 PM_{10} 日平均浓度相对月平均浓度增长了2~10倍,$PM_{2.5}$ 日平均浓度相对月平均浓度增长了5~8倍;$PM_{2.5}/PM_{10}$ 浓度比出现显著下降,表明在沙尘初期以粗颗粒物为主,随着沙尘持续 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 逐渐增大,尤其在沙尘后期,粗颗粒逐渐沉降之后,细颗粒占比升高。表明沙尘对颗粒物有一定的输送效应,且对 PM_{10} 的影响较 $PM_{2.5}$ 更加显著。

(2)在沙尘暴过境前后,气态污染物 SO_2、CO和 NO_2 的日平均浓度在沙尘暴爆发前均有小幅度的增加,沙尘暴爆发期间有不同程度的减小,沙尘暴过境后浓度又增加恢复至原先水平。表明沙尘对 SO_2、CO和 NO_2 等气态污染物有一定的输送和扩散作用。而对 O_3 的质量浓度无明显影响。

(3)本次沙尘暴属于纯冷锋型沙尘暴,PM_{10} 浓度大值区基本位于地面3 h正变压区以及正负变压交界处,且移动路径基本位于地面冷锋的后部地区。这为沙尘暴及污染预报和预防提供天气学依据。

(4)本次沙尘暴天气过程主要是贝加尔湖西部的大槽不断带下冷空气,其后部的横槽转竖再次带下冷空气。中层表现为新疆北部受高压控制,江淮地区与蒙古国东部地区受低压影响,我国整体受这种西高东低形势的控制,从而加强了新疆—内蒙古一线的西北风,这是形成本次沙尘天气的动力因子。

参考文献(References):

[1] 周成龙,杨兴华,钟昕洁,等.塔克拉玛干沙漠腹地沙尘天气特征[J].干旱区研究,2017,34(2):324-329.[Zhou Chenglong, Yang Xinghua, Zhong Xinjie, et al. Dust weather in hinterland of the Taklamakan Desert[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(2): 324-329.]

[2] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5):513-521.[Ye Duzheng, Chou Jifan, Liu Jiyuan, et al. Causes of sand-stormy weather in Northern China and contral measures[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5):513-521.]

[3] 薛占金,秦作栋,孟宪文,等.2010年3月我国沙尘天气的若干特征[J].干旱区研究,2011,28(4):694-698.[Xue Zhanjin, Qin Zuodong, Meng Xianwen, et al. Characteristics of sandstorm weather in China in March 2010[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(4):694-698.]

[4] 岳平,牛生杰,刘晓云."7·12"特异沙尘暴成因研究[J].干旱区研究,2005,22(3):345-349.[Yue Ping, Niu Shengjie, Liu Xiaoyun. Study on the formation causes of the peculiar dust storm occurred on July 12, 2004[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(3): 345-349.]

[5] 牛生杰,孙继明,陈跃,等.贺兰山地区春季沙尘气溶胶质量浓

chinaXiv:201811.00031v1

ChinaXiv合作期刊

度的观测分析〔J〕. 高原气象,2001,20(1):82 - 87.〔Niu Shengjie,Sun Jiming,Chen Yue,et al. Observation and analysis of mass concentration of dust and sand aerosol in spring in Helanshan Area〔J〕. Plateau Meteorology,2001,20(1):82 - 87.〕

〔6〕 牛生杰,章澄昌,孙继明. 贺兰山地区沙尘气溶胶粒子谱分布的观测研究〔J〕. 大气科学,2001,25(2):243 - 252.〔Niu Shengjie,Zhang Chengchang,Sun Jiming. Observation and study of particle spectrum distribution of dust aerosol in Helan Mountain Area〔J〕. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2001,25(2):243 - 252.〕

〔7〕 刘景涛,钱正安,姜学恭,等. 中国北方特强沙尘暴的天气系统类型分析〔J〕. 高原气象,2004,23(4):540 - 547.〔Liu Jingtao, Qian Zheng'an,Jiang Xuegong,et al. A study on weather types of super severe dust storms in North China〔J〕. Plateau Meteorology, 2004,23(4):540 - 547.〕

〔8〕 刘庆阳,刘艳菊,赵强,等. 2012 年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析〔J〕. 环境科学,2014,35(8):2 843 - 2 850.〔Liu Qingyang,Liu Yanju,Zhao Qiang,et al. Chemical characteristics in airborne particulate matter (PM_{10}) during a high pollution spring dust storm episode in Beijing,Tianjin and Zhangjiakou, China〔J〕. Journal of Environmental Sciences,2014,35(8):2 843 - 2 850.〕

〔9〕 宁海文,王式功,杜继稳. 西安沙尘天气特征及其对空气质量的影响〔J〕. 中国沙漠,2005,25(6):94 - 98.〔Ning Haiwen, Wang Shigong, Du Jiwen. Characteristics of sand-dust events and their influence on air quality of Xi'an City〔J〕. Journal of Desert Research,2005,25(6):94 - 98.〕

〔10〕 Hu Y,Wang S,Song X,et al. Precipitation changes in the mid-latitudes of the Chinese mainland during 1960 - 2014〔J〕. Journal of Arid Land,2017,9(6):924 - 937.

〔11〕 王菊,李娜,房春生. 以长春为例研究环境空气中 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$的相关性〔J〕. 中国环境监测,2009,25(2):19 - 22.〔Wang Ju,Li Na,Fang Chunsheng. Take Changchun for example to study on correlation analysis of TSP,PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Atmosphere〔J〕. Environmental Monitoring in China,2009,25(2):19 - 22.〕

〔12〕 武宝利,古晓娜,战景明,等. 廉江某地区大气 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$污染水平及相关性研究〔J〕. 环境科学与管理,2015,40(5):51 - 53.〔Wu Baoli,Gu Xiaona,Zhan Jingming,et al. Atmospheric contaminants of TSP/PM_{10}/$PM_{2.5}$ and their correlation in atmosphere of Lianjiang Area〔J〕. Environmental Science and Management,2015,40(5):51 - 53.〕

〔13〕 郭勇涛,辛金元,李旭,等. 沙尘对兰州市大气环境质量的影响〔J〕. 中国沙漠,2015,35(4):977 - 982.〔Guo Yongtao, Xin Jinyuan,Li Xu,et al. Characteristics of dust events and their influence on air quality of Lanzhou, China〔J〕. Journal of Desert Research,2015,35(4):977 - 982.〕

〔14〕 王汝佛,冯强,尚可政. 2010 春季我国一次强沙尘暴过程分析〔J〕. 干旱区地理,2014,37(1):31 - 44.〔Wang Rufu, Feng Qiang,Shang Kezheng. A severe sand-dust storm over China in the spring of 2010〔J〕. Arid Land Geography,2014,37(1):31 - 44.〕

Air Pollution in a Strong Sandstorm in North China

JIANG Yu-he[1], WANG Shi-gong[1], JIN Shuang-long[2], FAN Jin[1]

(1. *College of Atmospheric Sciences*, *Chengdu University of Information Technology*, *Chengdu* 610225, *Sichuan*, *China*;
2. *State Key Laboratory of Control of New Energy and Energy Storage*, *China Academy of Electric Power Research*, *Beijing* 100192, *China*)

Abstract: In this study, the routine environmental monitoring of pollutant concentration data, NCEP/NCAR 0.5°×0.5° reanalysis data and conventional meteorological observation data were used. The purpose of the study was to lucubrate the air pollution process of a strong sandstorm in 13 provinces (including autonomous regions and municipalities directly under the central government) in China from May 3 to 6, 2017. The results showed that the average daily concentration of PM_{10} in the main cities suffering from the sandstorm was increased by 2 - 10 times relative to the monthly average. The average daily concentration of $PM_{2.5}$ was increased by 5 - 8 times relative to the monthly average concentration. During the intense sandstorm, the concentration of particulate matter was in a clear upward trend, and the increase of PM_{10} concentration was more obvious than that of $PM_{2.5}$, which indicated that the sandstorm carried a large amount of coarse particle pollutants. On the contrary, during the occurrence of sandstorm, the average daily concentrations of SO_2, CO and NO_2 were in a decrease trend, which revealed that the sandstorm had a certain effect of diffusing O_3. In addition, the locations of the regions with low visibility, high PM_{10} concentration and 3 hour positive pressure were basically accorded with and located in the rear of ground cold front, which could provide a synoptic basis for predicting and preventing sandstorm and its pollution.

Key words: dust storm; inhalable particles (PM_{10} and $PM_{2.5}$); circulation feature; gaseous pollutants (SO_2, CO and NO_2)

chinaXiv:201811.00031v1